



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

(1~1000  $\mu\text{m}$ )标准台阶规(阶差规)

校准规范

Calibration Specification for  
(1~1000)  $\mu\text{m}$  Standard Step Gauge

(征求意见稿)

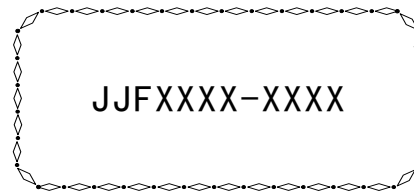
XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 标准台阶规(阶差规) 校准规范

Calibration Specification for  
(1~1000)  $\mu\text{m}$  Standard Step Gauge



归口单位：全国几何量长度计量技术委员会  
主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言..... II

1 范围..... 1

2 引用文件..... 1

3 术语和计量单位..... 1

4 概述..... 1

5 计量特性..... 2

6 校准条件..... 2

7 校准项目和校准方法..... 3

7.1 校准前准备 ..... 3

7.2 表面粗糙度 ..... 3

7.3 平面度 ..... 3

7.4 台阶高度 ..... 3

7.5 台阶高度变动性 ..... 4

8 校准结果表达..... 5

9 复校时间间隔..... 5

附录 A 光波干涉仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例 ..... 6

附录 B 接触式激光干涉仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例 ..... 10

附录 C 比较仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例 ..... 13

附录 D 校准证书内页格式 ..... 16

# 引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# (1~1000) $\mu\text{m}$ 标准台阶规(阶差规) 校准规范

## 1 范围

本规范适用于台阶高度为(1~1000) $\mu\text{m}$  的标准台阶规(阶差规)的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1059-2012 测量不确定度评定与表示

JJG146-2011 量块检定规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 标准台阶规（阶差规） standard step gauge

由多个量块与同一个基体研合（组合）并封装成一体，具有多个台阶高度值的台阶标准器。

### 3.2 台阶高度 step height

台阶面上的一点到与其相邻台阶面上一点高度差的绝对值。

### 3.3 台阶高度变动性（量） step height variation

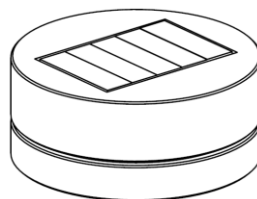
两相邻台阶面间最大台阶高度与最小台阶高度之差。

## 4 概述

标准台阶规（阶差规）主要用于校准台阶仪，光学仪器的 Z 轴、轮廓仪、粗糙度仪及其他台阶高度类仪器。其台阶面采用特殊尺寸的钢制或陶瓷量块制造而成，基体可以是与台阶面材质相同的材料研磨而成或光学平晶。标准台阶规（阶差规）的外形结构由图 1 所示。



a 台阶面和基体均为陶瓷或钢



b 基体和台阶面分别为光学平晶和量块

图 1 标准台阶规（阶差规）示意图

## 5 计量特性

### 5.1 外观通用技术要求

标准台阶规不应具有影响测量的外观缺陷，测量时台阶面不应有影响测量的油渍和灰尘等。标准台阶规的台阶高度应有明确标识。

### 5.2 表面粗糙度

台阶面的表面粗糙度  $R_a$  应不大于  $0.02 \mu\text{m}$ 。

### 5.3 平面度

台阶面的平面度应不大于  $0.10 \mu\text{m}$ 。

### 5.4 台阶高度

台阶高度的允许偏差  $\pm 0.20 \mu\text{m}$ 。

### 5.5 台阶高度变动性

台阶高度变动性应不超过  $0.20 \mu\text{m}$ 。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

表 1 环境条件要求

序号	项目	参考技术指标
1	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$(20 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$
2	温度变化/ $(^{\circ}\text{C}/\text{h})$	$\leq 0.2$
3	相对湿度/%RH	25~65
4	恒温时间/h	0.5

说明：上述环境条件为一般通用要求，具体环境条件应满足客户校准需求。

### 6.2 测量标准及其他设备

推荐使用表 2 所列仪器，允许使用其他满足客户校准需求的仪器。

表 2 校准项目和校准设备

序号	校准项目	校准设备
1	表面粗糙度	粗糙度测量仪
2	平面度	量块干涉仪，平面干涉仪
3	台阶高度	量块干涉仪，量块比较仪，接触式干涉仪

4	台阶高度变动性	
---	---------	--

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前准备

校准前，擦拭标准台阶规（阶差规）表面的防锈油。检查外观，确认没有影响使用及计量性能的外观缺陷。

### 7.2 表面粗糙度

使用表面粗糙度测量仪对各台阶面进行测量。

### 7.3 平面度

使用量块干涉仪或平面干涉仪直接测量各台阶面的平面度（台阶面距离边缘棱线1mm范围内不计）。

### 7.4 台阶高度

通常以台阶面中心点作为台阶高度的校准结果，或客户指定的其他点作为校准结果。

#### 7.4.1 用量块干涉仪测量

采用小数重合法测量原理进行台阶规测量时，将标准台阶规放置在量块干涉仪的测量光路内，调整标准台阶规的姿态直到各台阶面出现干涉条纹，精细调整台阶规的姿态直到各台阶面出现4~5条干涉条纹。以较低台阶面为参考面，计算其相邻台阶面指定点位置的干涉小数。若各台阶面干涉条纹比较倾斜时，将其中一个台阶面的干涉条纹方向调整到与此台阶面的短边方向平行，进行干涉小数的测量计算。台阶高度为干涉仪的长度测量值。

$$h = L \quad (1)$$

式中：

$h$ —台阶高度

$L$ —干涉仪结果（20℃下的长度）

#### 7.4.2 用量块比较仪测量

将标准台阶规放置在量块比较仪的工作台上，当一个台阶面测量点接触测头后，比较仪读数置零，移动另一相邻台阶面的测量点到测量位置，比较仪的读数 $L_1$ 为第1次测量值。调转标准台阶规180°后，重复上述测量，得到第2次测量值 $L_2$ 。台阶高度 $h$ 取2次测量值的平均值。



$$h = \frac{1}{2}(L_1 + L_2) \quad (2)$$

式中:

$h$ —台阶高度

$L_1$ 、 $L_2$ —比较仪的读数

## 7.5 台阶高度变动性

### 7.5.1 用量块干涉仪测量

按照 7.4.1 中所述测量方法, 分别测量获得台阶面间中心点及台阶面长边方向距离外侧 1/3 处左右两中间点的台阶高度, 台阶高度变动性为 3 个台阶高度的最大值与最小值的差值。量块干涉仪测量台阶高度变动性时测量点示意图如图 2 所示。

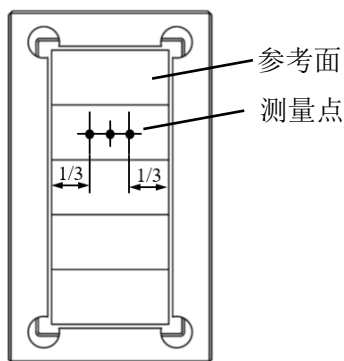


图 2 量块干涉仪测量台阶高度变动性测量点示意图

### 7.5.2 用量块比较仪测量

将标准台阶规放置在量块比较仪的工作台上, 将一个台阶面的中心点接触测头后, 读数置零, 分别移动另一相邻台阶面的中心点及台阶面长边方向距离外侧 1/3 处左右两中间点到测量位置, 台阶高度变动性为 3 个台阶高度的最大值与最小值的差值。比较仪测量台阶高度变动性时测量点示意图如图 3 所示。

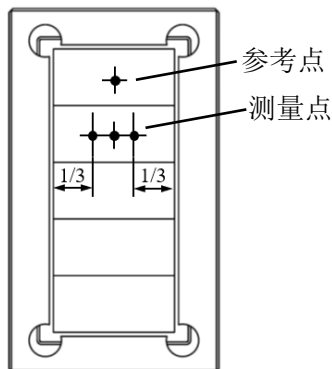


图 3 比较仪测量台阶高度变动性测量点示意图

## 8 校准结果表达

标准台阶规经校准后，出具校准证书。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范偏离的说明（若有）；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识、以及签发日期；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔为 1 年。

## 附录 A

### 光波干涉仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例

#### A.1 测量方法

采用移相量块干涉仪直接测量钢制 0~1mm 标准台阶规的台阶高度(图 1b 所示), 干涉仪采用两个稳频激光作为测量光源, 条纹小数采用 5 步移相干涉法获得, 采用小数重合法计算被测长度。恒温实验室的温度为  $(20 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ , 将干涉仪内材料温度传感器与台阶规相接触测量其温度值, 调整台阶规的方向直至出现 4~5 条干涉条纹。关闭干涉仪等温后, 采集干涉图像。计算中心点的干涉小数, 测量软件计算获得被测长度, 被测长度经过温度修正到  $20^\circ\text{C}$ , 即为标准台阶规的台阶高度测量结果。

#### A.2 测量模型

在参考温度  $20^\circ\text{C}$  下, 被测标准台阶规的台阶高度可以表示为:

$$h = \frac{(m + F) \cdot \lambda}{2n} - H\alpha(t - 20) + \delta H_\Omega + \delta H_A + \delta H_v$$

式中:

$h$ — $20^\circ\text{C}$  下的台阶高度

$m$ —干涉测量条纹级次大数

$F$ —干涉测量条纹级次小数

$\lambda$ —激光真空波长

$n$ —空气折射率

$H$ —台阶高度的标称值

$\alpha$ —台阶规线膨胀系数

$t$ —台阶规的温度值

$\delta H_\Omega$ —光线倾斜对测量结果的影响

$\delta H_A$ —干涉仪光学系统的不完善所引起的波前畸变对测量结果的影响

$\delta H_v$ —测量点偏离中心点时由于台阶面的平面度对测量结果的影响

测量中各输入量间不相关, 合成方差可以表示为

$$u_c^2(H) = \sum \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = \sum c_i^2 u_i^2$$

式中  $c_i$  为灵敏系数,  $u_i$  为各输入量的标准不确定度。则  $c_i$  如下:

$$c_1 = \frac{\partial H}{\partial F} = \frac{\lambda}{2} \quad c_2 = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = \frac{H}{\lambda} \quad c_3 = \frac{\partial H}{\partial n} = H \quad c_4 = \frac{\partial H}{\partial \alpha} = -H(t - 20)$$

$$c_5 = \frac{\partial H}{\partial t} = -H\alpha \quad c_6 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_\Omega} = 1 \quad c_7 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_A} = 1 \quad c_8 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_v} = 1$$

### A.3 标准不确定度和不确定度分量

#### A.3.1 小数测量重复性引入的不确定度分量 $u_1$

采用 5 步移相法计算指定中心点的干涉小数，程序计算小数的重复性优于 0.01。假定小数测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(F) = 0.01$$

以 633nm 稳频激光器计算，则对应不确定度分量为

$$u_1 = |c_1|u(F) = \frac{633}{2} \times 0.01 = 3.2 \text{ nm}$$

#### A.3.2 真空波长引入的不确定度分量 $u_2$

依据证书 633 nm 稳频激光器真空波长的不确定度为  $5 \times 10^{-8}$ ， $k=2$ 。则由波长引入的标准不确定度为：

$$u(\lambda) = \frac{5 \times 10^{-8}}{2} \lambda = 2.5 \times 10^{-8} \lambda$$

则对应不确定度分量为

$$u_2 = |c_2|u(\lambda) = \frac{H}{\lambda} \times u(\lambda) = 2.5 \times 10^{-8} H$$

#### A.3.3 空气折射率引入的不确定度分量 $u_3$

由干涉仪各传感器分析，假定由空气折射率引入的标准不确定度为：

$$u(n) = 2.6 \times 10^{-8}$$

则对应不确定度分量为

$$u_3 = |c_3|u(n) = H \times u(n) = 2.6 \times 10^{-8} H$$

#### A.3.4 线膨胀系数引入的不确定度分量 $u_4$

钢量块线膨胀系数为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} / \text{K}$ ，假定其在此范围内矩形分布，则量块线膨胀系数的标准不确定度为

$$u(\alpha) = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$$

测量时标准台阶规偏离参考温度 20℃ 按最大 0.3℃ 计算，则对应的不确定度分量为

$$u_4 = |c_4|u(\alpha) = H \times 0.3 \times 5.77 \times 10^{-7} = 17.31 \times 10^{-8} H$$

#### A.3.5 温度测量引入的不确定度分量 $u_5$

假定测温传感器的标准不确定度 $u(t) = 0.02^{\circ}\text{C}$ ，则对应不确定度分量为

$$u_5 = |c_5|u(t) = H\alpha \times u(t) = 11.5 \times 10^{-6} \times 0.02 \times H = 23.0 \times 10^{-8}H$$

#### A.3.6 光线倾斜引入的不确定度分量 $u_6$

有两个因素可能使光线倾斜入射到量块表面。一是由于干涉仪调整不佳而使光线倾斜入射到参考镜上，此时为使从参考镜和量块表面反射回来的入射光缝的像相重合，光线也必须以同样的角度入射到量块表面；另一个因素是测量时要求在干涉仪视野中看到量块表面有 4~5 个条纹，这要求量块表面相对于参考镜成一小的角度。两者相比，后者的影响较小而可以忽略。

干涉仪调整时，准直透镜的焦距为 400mm，光源位置误差不超过  $50\text{ }\mu\text{m}$ ，其在此范围内矩形分布，则光线倾斜引入的标准不确定度为

$$u(\delta H_Q) = 0.9 \times 10^{-8}H$$

则对应不确定度分量为

$$u_6 = |c_6|u(\delta H_Q) = 1 \times 0.9 \times 10^{-8}H = 0.9 \times 10^{-8}H$$

#### A.3.7 波前畸变引入的不确定度分量 $u_7$

波前畸变是由干涉仪的光学系统不完善引起的，假定其标准不确定度为

$$u(\delta H_A) = 3\text{ nm}$$

则对应不确定度分量为

$$u_7 = |c_7|u(\delta H_A) = 3\text{ nm}$$

#### A.3.8 台阶面平面度引入的不确定度分量 $u_8$

台阶面由 1 等量块组成，其平面度不超过  $0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，其符合矩形分布，则标准不确定度为

$$u(\delta H_v) = \frac{50}{\sqrt{3}} = 29\text{ nm}$$

实际测量点相对于中心点的偏离量不超过 0.3mm，则标准不确定度分量为

$$u_8 = |c_8|u(\delta H_v) = 1 \times \frac{29}{5} \times 0.3 = 1.74\text{ nm}$$

### A.4 合成标准不确定度

#### A.4.1 不确定度分量一览表

序号	输入量	标准不确定度分量 $u_i$
1	$F$	3.2 nm

<b>2</b>	$\lambda$	$2.5 \times 10^{-8}H$
<b>3</b>	$n$	$2.6 \times 10^{-8}H$
<b>4</b>	$\alpha$	$17.31 \times 10^{-8}H$
<b>5</b>	$t$	$23.0 \times 10^{-8}H$
<b>6</b>	$\delta H_{\Omega}$	$0.9 \times 10^{-8}H$
<b>7</b>	$\delta H_A$	3 nm
<b>8</b>	$\delta H_v$	1.74 nm

标准不确定度分量中包括与被测台阶高度  $H$  相关的量，当  $H=1\text{mm}$ ，与  $H$  相关的最大分量为 0.23 nm，与其他常数项相比极小，因此所有与  $H$  相关的分量忽略不计。

#### A.4.2 合成标准不确定度 $u_c$ ( $H=1\text{ mm}$ 时)

两台阶面的测量点均应考虑台阶面平面度引入的不确定度，因此计算合成标准不确定度时，此项需要计算两次。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_7^2 + 2u_8^2} = 4.7 \text{ nm}$$

#### A.5 扩展不确定度 $U$

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 10 \text{ nm}$$

## 附录 B

### 接触式激光干涉仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例

#### B.1 测量方法

采用接触式激光量块干涉仪直接测量 0~1mm 标准台阶规的台阶高度(图 1a 所示), 其采用 633nm 稳频激光作为测量光源。恒温实验室的温度为  $(20 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ , 将干涉仪内材料温度传感器与台阶规相接触测量其温度值。干涉仪的恒力接触测头分别自动定位接触两台阶面的中心点。干涉仪的读数经过温度修正到  $20^\circ\text{C}$ , 即为标准台阶规的台阶高度测量结果。

#### B.2 测量模型

在参考温度  $20^\circ\text{C}$  下, 被测标准台阶规的台阶高度可以表示为:

$$h = L - H\alpha(t - 20) + \delta H_F + \delta H_v$$

式中:

$h$ — $20^\circ\text{C}$  下的台阶高度

$L$ —干涉仪读数

$\lambda$ —激光真空波长

$n$ —空气折射率

$H$ —台阶高度的标称值

$\alpha$ —台阶规线膨胀系数

$t$ —台阶规的温度值

$\delta H_F$ —工作台平面度对测量结果的影响

$\delta H_v$ —测量点偏离中心点时由于台阶面的平面度对测量结果的影响

测量中各输入量间不相关, 合成方差可以表示为

$$u_c^2(H) = \sum \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = \sum c_i^2 u_i^2$$

式中  $c_i$  为灵敏系数,  $u_i$  为各输入量的标准不确定度。则  $c_i$  如下:

$$\begin{aligned} c_1 = \frac{\partial H}{\partial L} &= 1 & c_2 = \frac{\partial H}{\partial \alpha} &= -H(t - 20) \\ c_3 = \frac{\partial H}{\partial t} &= -H\alpha & c_4 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_F} &= 1 & c_5 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_v} &= 1 \end{aligned}$$

#### B.3 标准不确定度和不确定度分量

### B.3.1 干涉仪读数误差引入的不确定度分量 $u_1$

干涉仪读数误差主要由 3 部分组成，测头的接触定位重复性，激光真空波长引入的误差以及空气折射率引入的测量误差。其中接触定位重复性不超过  $0.01 \mu\text{m}$ ，激光真空波长引入的误差以及空气折射率引入的测量误差由附录 A 中分析可知，其余被测台阶高度相关，其大小可忽略不计。因此干涉仪读数误差引入的标准不确定度为

$$u(L) = 0.01 = 0.01 \mu\text{m}$$

则对应不确定度分量为

$$u_1 = |c_1|u(L) = 1 \times 0.01 = 0.01 \mu\text{m}$$

### B.3.2 线膨胀系数引入的不确定度分量 $u_2$

钢量块线膨胀系数为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} / \text{K}$ ，假定其在此范围内矩形分布，则量块线膨胀系数的标准不确定度为

$$u(\alpha) = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$$

测量时标准台阶规偏离参考温度  $20^\circ\text{C}$  按最大  $0.3^\circ\text{C}$  计算，则对应的不确定度分量为

$$u_2 = |c_2|u(\alpha) = H \times 0.3 \times 5.77 \times 10^{-7} = 17.31 \times 10^{-8} H$$

### B.3.3 温度测量引入的不确定度分量 $u_3$

测温传感器的标准不确定度  $u(t) = 0.02^\circ\text{C}$ ，则对应不确定度分量为

$$u_3 = |c_3|u(t) = H\alpha \times u(t) = 11.5 \times 10^{-6} \times 0.02 \times H = 23.0 \times 10^{-8} H$$

### B.3.4 工作台平面度引入的不确定度分量 $u_4$

接触式激光干涉仪采用带筋工作台，假定工作台左右测平面度造成的读数差异不超过  $0.02 \mu\text{m}$ ，则标准不确定度为

$$u(\delta H_F) = 0.02 \mu\text{m}$$

则对应不确定度分量为

$$u_4 = |c_4|u(\delta H_F) = 1 \times 0.02 = 0.02 \mu\text{m}$$

### B.3.5 台阶面平面度引入的不确定度分量 $u_5$

此处对测量的影响主要包括台阶面的平面度和基体底面的平面度两部分。台阶面由 1 等量块组成，其平面度不超过  $0.05 \mu\text{m}$ ，符合矩形分布。与台阶面材质相同的基体底面的平面度以  $0.15 \mu\text{m}$  估计，符合矩形分布。则标准不确定度为

$$u(\delta H_v) = \sqrt{\left(\frac{0.05}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.15}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.091 \mu\text{m}$$



实际测量点相对于中心点的偏离量不超过 0.3mm。假定台阶面短边方向的长度为 6mm，边倒角宽度为 0.5mm，则有效长度为 5mm。则标准不确定度分量为

$$u_5 = |c_5|u(\delta H_v) = 1 \times \frac{0.091}{5} \times 0.3 = 0.0055 \mu\text{m}$$

#### B.4 合成标准不确定度

##### B.4.1 不确定度分量一览表

序号	输入量	标准不确定度分量 $u_i$
1	$L$	0.01 $\mu\text{m}$
2	$\alpha$	$17.31 \times 10^{-8}H$
3	$t$	$23.0 \times 10^{-8}H$
4	$\delta H_F$	0.02 $\mu\text{m}$
5	$\delta H_v$	0.0055 $\mu\text{m}$

标准不确定度分量中包括与被测台阶高度  $H$  相关的量，当  $H=1\text{mm}$ ，与  $H$  相关的最大分量为 0.23 nm，与其他常数项相比极小，因此所有与  $H$  相关的分量忽略不计。

##### B.4.2 合成标准不确定度 $u_c$

两台阶面的测量点均应考虑台阶面平面度引入的不确定度，因此计算合成标准不确定度时，此项需要计算两次。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_4^2 + 2u_5^2} = 0.024 \mu\text{m}$$

#### B.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 0.05 \mu\text{m}$$

## 附录 C

## 比较仪测量标准台阶规台阶高度的测量不确定度评定示例

## C.1 测量方法

采用量块比较仪测量 0~200 $\mu\text{m}$  标准台阶规的台阶高度(图 1a 所示), 恒温实验室的温度为  $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , 台阶规的一个台阶面中心点与比较仪测头接触后, 读数置零, 移动台阶规是另一台阶面的中心点与比较仪的测头相接触, 比较仪的读数即为标准台阶规的台阶高度测量结果。

## C.2 测量模型

在测量状态下, 被测标准台阶规的台阶高度可以表示为:

$$h = \Delta L + \delta H_t + \delta H_F + \delta H_v$$

式中:

$h$ — $20^\circ\text{C}$  下的台阶高度

$\Delta L$ —比较仪的读数

$\delta H_t$ —温度偏离  $20^\circ\text{C}$  对测量结果的影响

$\delta H_F$ —工作台平面度对测量结果的影响

$\delta H_v$ —测量点偏离中心点时由于台阶面的平面度对测量结果的影响

测量中各输入量间不相关, 合成方差可以表示为

$$u_c^2(H) = \sum \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = \sum c_i^2 u_i^2$$

式中  $c_i$  为灵敏系数,  $u_i$  为各输入量的标准不确定度。则  $c_i$  如下:

$$c_1 = \frac{\partial H}{\partial \Delta L} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_t} = 1 \quad c_3 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_F} = 1 \quad c_4 = \frac{\partial H}{\partial \delta H_v} = 1$$

## C.3 标准不确定度和不确定度分量

C.3.1 量块比较仪示值误差引入的不确定度分量  $u_1$ 

量块比较仪采用量块对校准后, 在 200 $\mu\text{m}$  示值范围内, 假定其示值误差不超过 0.05 $\mu\text{m}$ , 其符合矩形分布, 则由比较仪示值误差引入的标准不确定度为

$$u(L) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \mu\text{m}$$

则对应不确定度分量为

$$u_1 = |c_1| u(L) = 1 \times 0.029 = 0.029 \mu\text{m}$$

说明：一般量块比较仪的示值误差大于其测量重复性，此处只考虑示值误差的影响。

### C.3.2 温度偏离 20℃ 引入的不确定度分量 $u_2$

测量时，不进行测量结果温度的修正，因此需要考虑温度偏离 20℃ 时所引入的测量不确定度。钢量块线膨胀系数为  $11.5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ，假定测量时温度偏离 20℃ 最大为 0.5℃，则标准不确定度为

$$u(\delta H_t) = H \times 0.5 \times 11.5 \times 10^{-6} = 5.75 \times 10^{-6} H$$

则对应不确定度分量为

$$u_2 = |c_2| u(\delta H_t) = 5.75 \times 10^{-6} H$$

### C.3.3 工作台平面度引入的不确定度分量 $u_3$

接触式激光干涉仪采用带筋工作台，假定工作台左右测平面度造成的读数差异不超过 0.02μm，则标准不确定度为

$$u(\delta H_F) = 0.02 \mu\text{m}$$

则对应不确定度分量为

$$u_3 = |c_3| u(\delta H_F) = 1 \times 0.02 = 0.02 \mu\text{m}$$

### C.3.4 台阶面平面度引入的不确定度分量 $u_4$

此处对测量的影响主要包括台阶面的平面度和基体底面的平面度两部分。台阶面由 1 等量块组成，其平面度不超过 0.05μm，其符合矩形分布。与台阶面材质相同的基体底面的平面度以 0.15μm 估计，符合矩形分布。则标准不确定度为

$$u(\delta H_v) = \sqrt{\left(\frac{0.05}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.15}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.091 \mu\text{m}$$

实际测量点相对于中心点的偏离量不超过 0.5mm。假定台阶面短边方向的长度为 6mm，边倒角宽度为 0.5mm，则有效长度为 5mm。则标准不确定度分量为

$$u_4 = |c_4| u(\delta H_v) = 1 \times \frac{0.091}{5} \times 0.5 = 0.0091 \mu\text{m}$$

## C.4 合成标准不确定度

### C.4.1 不确定度分量一览表

序号	输入量	标准不确定度分量 $u_i$
1	$\Delta L$	0.029 μm
2	$\delta H_t$	$5.75 \times 10^{-6} H$
3	$\delta H_F$	0.02 μm

4	$\delta H_v$	0.0091 $\mu\text{m}$
---	--------------	----------------------

标准不确定度分量中包括与被测台阶高度  $H$  相关的量，当  $H=200\mu\text{m}$ ，与  $H$  相关分量的值极小，因此所有与  $H$  相关的分量忽略不计。

#### B.4.2 合成标准不确定度 $u_c$

两台阶面的测量点均应考虑台阶面平面度引入的不确定度，因此计算合成标准不确定度时，此项需要计算两次。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + 2u_4^2} = 0.04 \mu\text{m}$$

#### C.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 0.08 \mu\text{m}$$

附录 D 校准证书内页格式

标准台阶规校准证书内页格式		
序号	台阶高度值 μm	测量不确定度 $U(k=2)$ μm
1		
2		
3		
4		

说明：台阶高度值的测量点为台阶面的中心点。

---

中华人民共和国  
国家计量技术规范  
XXXXXXXXXX 校准规范  
**JJFXXXX—XXXX**  
国家市场监督管理总局发布